

山岳トンネルにおける3次元トンネル切羽亀裂解析システムの開発と検証

鉄建建設(株) 正会員 ○中原法久 村岡亜美 舟橋孝仁 須志田藤雄
鉄建建設(株) 堤 直之 竹市八重子 長尾達児
CalTa 株式会社 井口重信

1. はじめに

山岳トンネル工事において坑内での3次元点群データ取得やICT技術は、施工管理面では省力化、生産性向上、安全面では切羽の肌落ち災害の防止、環境面では負荷低減や脱炭素への積極的な活用が求められる。

今回は、その中で切羽作業の安全性、切羽観察業務の変革に寄与する切羽亀裂解析システムの開発について報告する。

このシステムは、地質的な専門技術を有しない現場技術者でも視覚的・感覚的に、危険箇所を連続的に認識できるようにすることを目指している。

2. システムの概要

本システムは、トンネル坑内において、GoPro や iPhone 等で座標の基準点(マーカー)を数枚写し込み撮影した切羽面の動画データを使用し、それを、デジタルツインソフトウェア「TRANCITY[®]」を利用して処理、管理、データ解析して、切羽亀裂の的確な把握をすることで、切羽観察補助や切羽作業の安全性向上等に繋がるシステムである。このソフトウェアは、動画データを、独自のクラウドにアップロードするだけで、座標を有した点群を生成し、時系列で連続的に3次元表示する機能を有している(図-1)。

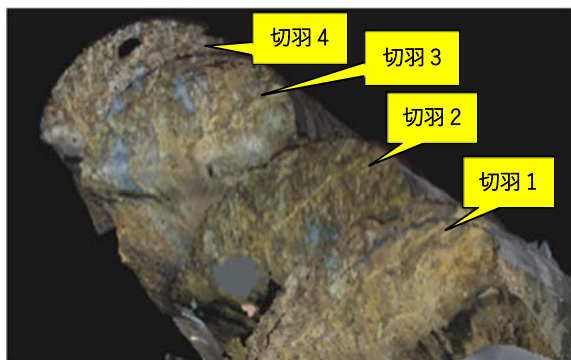


図-1 切羽の3次元データの時系列イメージ

3. 亀裂解析結果

写真-1に示すように、切羽上では地質の複雑な色調等の情報もあることから、遠方からの肉眼観察では亀裂の抽出が困難な場合があった。今回、切羽面の3次元点群データに、以下の3段階の解析を加えることで亀裂

の間隔と亀裂の交差関係を判別し、危険箇所を抽出できるシステムを開発した。



写真-1 切羽写真の亀裂の例

第一に、取得した点群は無数の不規則な点の集まりであることから、亀裂の形状等による点群の取得ムラの影響を低減させ、コントラストを明瞭にするため、切羽の範囲を一定サイズのメッシュで区分し、そのメッシュ内の点群を平均化する(以下、平均化した点群を「平均化点群」とする)。

第二に、この平均化点群よりシュミットネットで亀裂の頻度分布図を作成し、卓越亀裂のピークを抽出したものを図-2に示す。この図では、第1ピークから第4ピークまでの、それぞれの抽出したピークの法線ベクトルの角度値を求めて走向傾斜に換算する。

第三に、その4つのピーク値ごとに、ある一定幅を持たせて切羽メッシュ図から亀裂の抽出を行ったものが図-3(検証のために表示した薄い実線は除く)となり、このシステムの解析結果図となる。

この図-3(a)は上向き(流れ目)亀裂の平均化点群、図-3(b)は下向き(差し目)亀裂の平均化点群、図-3(c)は切羽に対して右向き亀裂の平均化点群、図-3(d)は切羽に対して左向き亀裂の平均化点群である。

この図-3(a)～(d)では、全体に高角度で亀裂が密集している状況が確認できる。特に図-3(c)と(d)(互いに直交関係にある)を見ると、天端部で細かく密集している状況が確認できる。また、図-3(a)を見ると、上向き(流れ目)亀裂が、特に天端部でくさび状に交差している関係を確認できる。

このことから、特に天端部で亀裂頻度が高く、流れ目

キーワード 山岳トンネル, 切羽の安全性, デジタルツインソフトウェア, 3次元点群データ, シュミットネット解析
連絡先 〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町 2-5-3 鉄建建設(株)土木本部 TEL:03-3221-2298

でくさび状に交差する関係を確認でき、肌落ちの危険性が高いことが分かる。さらに、掘削ごとの各切羽の解析結果を同時に表示することで、連続的に危険個所を抽出することが可能である。

また、従来目視により作成していた切羽観察記録のうち、亀裂の間隔、亀裂の形態、見掛けの傾斜角を把握できる。

4. 結果の検証

平均化点群の分布の検証として各ピークに該当する亀裂面をソフトウェア上において肉眼で確認できる亀裂面の見掛けの傾斜角をピーク毎に同系色の薄い実線で図-3に表示した。

この図によると、平均化点群の伸長方向と見掛けの傾斜が概略一致していることが分かる。このことから、誤差やバラツキも含んではいるが、確からしい結果が得られたことが分かる。

このシステムの特徴として、撮影動画をアップロードするだけで、ソフトウェア上で切羽面の亀裂解析結果図を取得できるため、業務の省力化につながるとともに、平均化点群を用いることで、切羽面を偏りなく評価できる点などがある。

また、これらのデータを現場技術者とバックアップの地質技術者らが、クラウドにより複数人で同時に共有、確認することができるため、必要に応じ切羽毎に専門的観点から見た注釈の添付を行うことも可能である。

5. おわりに

現状では複数の解析を複合的に行うためやや時間を要するが、今後は、多くの特性の異なる切羽の亀裂データを解析することでシステムの改良、検証を重ねたい。

そして、データの点群化後速やかに演算、図化できるよう解析速度を向上させ、切羽画像上に危険個所を表示させるとともに、図-1 に示すように、時系列的に切羽の亀裂を把握し、切羽前方の状態の予測・表示を行うことで作業の安全を向上する解析システムとなるよう開発を継続する。

* デジタルツインソフトウェア「TRANCITY」

デジタルツインソフトウェア「TRANCITY」(CalTa株式会社)は、動画データから、クラウドへアップロードすることで、座標を有した点群を生成し、3次元表示する機能を有し、現場管理業務をデジタル地図上で集約するWebブラウザ上で稼働するソフトウェアである。

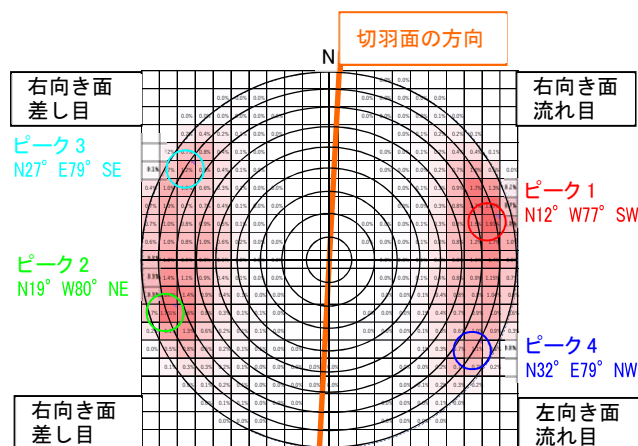
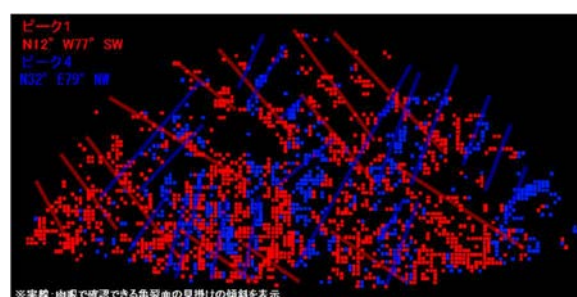
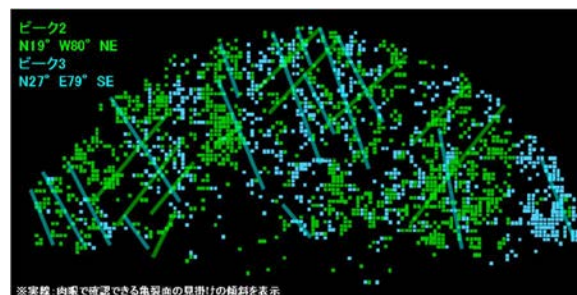


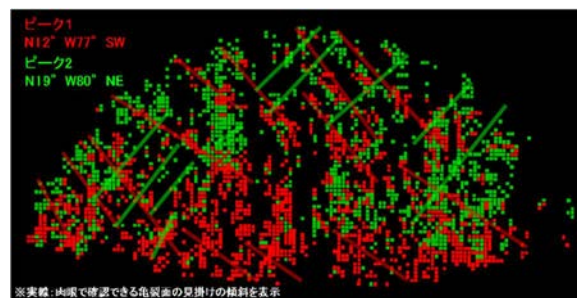
図-2 シュミットネットによるピーク値の算出



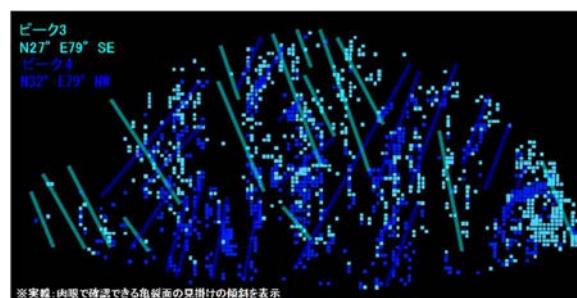
(a) 上向き亀裂のピーク 1,4 周辺の平均化点群



(b) 下向き亀裂のピーク 2,3 周辺の平均化点群



(c) 右向き亀裂のピーク 1,2 周辺の平均化点群



(d) 左向き亀裂のピーク 3,4 周辺の平均化点群
図-3 シュミットネットの解析イメージ